

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 15 001.3

Anmeldetag: 2. April 2003

Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen/DE

Bezeichnung: Verfahren zum lithographischen
Belichten eines Wafers

IPC: G 03 F 7/20

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 1. April 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PATENTANWÄLTE

DR. ULRICH OSTERTAG

DR. REINHARD OSTERTAG

EIBENWEG 10 D-70597 STUTTGART

TEL. +49-711-766845

FAX +49-711-7655701

Verfahren zum lithographischen Belichten eines Wafers

Anmelder: Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologies AG
c/o Carl Zeiss Patentabteilung

73446 Oberkochen

Anwaltsakte: 8303.4

Verfahren zum lithographischen Belichten
eines Wafers

05

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum lithographischen Belichten eines Wafers gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

Ein derartiges Verfahren ist in der EP 1 039 510 A1 beschrieben. Es wird dort vorgeschlagen, die Maske, mit deren Hilfe das Abscannen der Vorlage (Reticle) erfolgt, in Richtung der optischen Achse zu verstellen und zu

15 verkippen, um Fehler im Abbildungsmaßstab und der Lage des erzeugten Bildes zu korrigieren.

20

Durch die vorliegende Erfindung soll ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weitergebildet werden, daß eine Kompensation von anamorphotischen Feldverläufen der Verzeichnung eines EUV-Objektives erhalten wird.

25

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum lithographischen Belichten eines Wafers, bei welchem ein Reticle von einer Lichtquelle beleuchtet wird und über ein Objektiv auf den Wafer abgebildet wird, wobei der Strahlengang objektseitig nicht telezentrisch ist, und bei welchem durch in einer Scanrichtung erfolgende Relativbewegungen zwischen Reticle und Wafer einerseits

30 und dem Objektiv andererseits das Abbild eines vom Reticle getragenen Musters auf den Wafer übertragen wird, wobei durch eine Kompensationsbewegung einer der vorgenannten Komponenten mindestens ein Abbildungsfehler des Objektives kompensiert wird, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß

35 zur Kompensation von Anamorphismus des Objektives das

Reticle um eine Achse verkippt wird.

Es wurde herausgefunden, daß man die anamorphotische Verzeichnung eines EUV-Objektives überraschenderweise
05 schon durch Kippen des Reticles um eine Achse deutlich vermindern kann. Durch diese verhältnismäßig einfache Maßnahme kann man eine erhebliche Verminderung eines die Abbildungsqualität charakterisierenden Meritwertes erzielen, wie weiter unten im einzelnen dargelegt wird. Diese Vermin-
10 derung kann bei einem praktischen Ausführungsbeispiel 56% betragen.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unter-
ansprüchen angegeben.

15 Vorzugsweise steht die Kippachse senkrecht auf der Richtung der Relativbewegung.

Vorzugsweise liegt die Kippachse in der beleuchteten
20 Fläche des Reticles.

Dabei ist bevorzugt, daß die Kippachse die Mitte des auf der beleuchteten Oberfläche erzeugten Lichtfeldes schneidet und nochmals vorzugsweise senkrecht auf der Richtung der
25 Relativbewegung steht.

Eine Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß sowohl das Reticle als auch der Wafer um die jeweils
30 genannte Achse verkippt wird.

Weil auf diese Weise ein durch das Kippen des Reticles erzeugter Bildkipp kompensiert wird, kann man die Verzeichnung entscheidend weiter herabsetzen, ohne wesentliche andere Abbildungsfehler einzuführen.

35

Vorzugsweise soll das Verhältnis zwischen den Beträgen der Kippwinkel von Reticle und Wafer dem Betrag des Abbildungsmaßstabes des Objektives entsprechen.

- 05 Es ist auch vorteilhaft, die Abstände der beiden Kippachsen von der optischen Achse des Objektives gemäß dem Abbildungsmaßstab des Objektives zu wählen.

- 10 Eine nochmalige deutliche Herabsetzung der anamorphotischen Verzeichnung erhält man dann, wenn man zusätzlich zu der Verkippung von Reticle und Wafer auch noch den Abbildungsmaßstab der Optik variiert. Mit dieser Maßnahme ist ein Herabsetzen des Meritwertes in einem Beispiel bis herab zu etwa 25% des Ausgangswertes möglich.

- 15 Alternativ oder zusätzlich kann durch Verändern der Lage und/oder der Orientierung einer oder mehrerer der Komponenten der Projektionseinrichtung, welche zu der Verkippung von Reticle und ggf. Wafer hinzukommt, die Verzeichnung
20 nochmals herabgesetzt werden.

- Unter den Komponenten der Projektionseinrichtung sollen in den Ansprüchen und der vorliegenden Beschreibung die abbildenden Elemente des Objektives (Spiegel) sowie Reticle
25 und Wafer verstanden werden.

- Derartige Lageänderungen sind bevorzugt eine Verschiebung parallel zur optischen Achse, ein Bewegen in Scanrichtung und ein Kippen um eine Achse, die senkrecht auf der
30 optischen Achse und senkrecht auf der Scanrichtung steht.

- Weitere Weiterbildungen der Erfindung sind dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv mindestens einen und nochmals vorzugsweise mindestens sechs Spiegel aufweist, nochmals
35 vorzugsweise ein nur Spiegel umfassendes Objektiv ist.

Nimmt man Kompensationsbewegungen für eine Mehrzahl der Komponenten des Objektivs vor, kann man die Meritfunktion für die Verzeichnung nochmals verbessern. Allerdings bringen eine vierte, fünfte und sechste Kompensationsbewegung nur noch kleinere Beiträge zur Reduktion der Meritfunktion.

Eine Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Kippwinkel des Reticles, gegebenenfalls der Kippwinkel des Wafer und nochmals gegebenenfalls zusätzlich Kompensationsbewegungen von Komponenten des Objektivs durch Minimierung einer Meritfunktion erhalten werden, welche auf der Basis von einer oder mehr der nachstehenden Größen ermittelt wird: Verzeichnung, Bildfeldwölbung, Koma, sphärische Aberration, Astigmatismus, Maßstabsfehler des Objektivs.

Nachstehend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Figur 1: eine schematische Darstellung einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage zum Belichten von Wafern;

Figur 2: eine schematische Darstellung eines Objektivs, welches in der Projektionsbelichtungsanlage nach Figur 1 verwendet wird;

Figur 3: eine schematische Darstellung der Lagerung eines Schlittens, der in der Projektionsbelichtungsanlage nach Figur 1 zum Halten und Bewegen des Wafers verwendet wird;

- 05 Figur 4: eine schematische Darstellung der y-Komponente
der Verzeichnung der Projektionsbelichtungsan-
lage nach Figur 1 mit dem Objektiv gemäß Figur
2 bei nicht verkipptem Reticle und Wafer (diese
Verzeichnungsfehler können fertigungs- oder al-
terungsbedingt sein oder durch Umweltparameter
herbeigeführt sein);
- 10 Figur 5: die Verzeichnung der Abbildung der Projektions-
belichtungsanlage nach Figur 1 mit dem Objektiv
nach Figur 2 für den Fall, daß das Reticle
um $1 \mu\text{rad}$ um die Achse x_R von Figur 1 gedreht
ist, wobei zugleich der Wafer in y- und z-
Richtung nachgeführt ist;
- 15 Figur 6: ein ähnliches Diagramm wie Figur 5, wobei
das Reticle um $4 \mu\text{rad}$ um die Achse x_R von
Figur 1 und der Wafer um $1 \mu\text{rad}$ um die Achse
 x_W von Figur 1 gedreht wird, wobei zugleich
20 der Wafer in y- und z-Richtung nachgeführt ist;
- 25 Figur 7: ein ähnliches Diagramm wie Figur 5, wobei
das Reticle zusätzlich um $0,031 \mu\text{m}$ in z-Richtung
verschoben wurde, wobei zugleich der Wafer in y-
und z-Richtung nachgeführt ist; und
- 30 Figur 8: ein ähnliches Diagramm wie Figur 5, wobei
der Spiegel M1 zusätzlich um $0,016 \mu\text{m}$ in z-
Richtung verschoben wurde, wobei zugleich der
Wafer in y- und z-Richtung nachgeführt ist.

35 In Figur 1 ist bei 10 schematisch als Kasten ein EUV-
Objektiv dargestellt. Das Objektiv hat eine Achse A und
besteht aus mehreren Spiegeln, wie später unter Bezugnahme

auf Figur 2 noch genauer erläutert wird. Das Objektiv dient dazu, ein auf der in Figur 1 untenliegenden Seite eines Reticles 12 vorgesehenes Muster auf die in Figur 1 obenliegende Seite eines Wafers 14 abzubilden.

05

Hierzu wird die Unterseite des Reticles 12 über einen Umlenkspiegel 16 mit dem Licht einer EUV-Lichtquelle 18 beaufschlagt. Das EUV-Licht kann aus Synchrotronstrahlung oder Plasmaentladungsquellen (laserinduziert oder durch Gasentladung induziert) bereitgestellt werden.

10

Auf der Unterseite des Reticles 12 wird durch die Lichtquelle 18 ein beleuchteter Streifen 22 erzeugt, der kreisbogenförmig ist. Die Winkelerstreckung des Streifens 22 ist der Breite der abzubildenden Struktur auf dem Reticle 12 angepaßt und kann in der Praxis z.B. 60° betragen.

15

Das von der Unterseite des Reticles 12 reflektierte Licht gelangt zum Objektiv 10 und wird vom Objektiv 10 als Lichtstreifen 24 auf die Oberseite des Wafers 14 abgebildet.

20

Oben links ist in Figur 1 ein kartesisches Koordinatensystem wiedergegeben, welches nachstehend zur Beschreibung verschiedener Bewegungen verwendet wird. Dabei stehen dx , dy und dz für kleine Bewegungen in den entsprechenden Koordinatenrichtungen, R_x , R_y , R_z für kleine Drehungen um die entsprechenden Achsen.

25

30

Die z-Achse des Koordinatensystems verläuft in Richtung der optischen Achse A vom Reticle 12 zum Wafer 14. Die x-Achse verläuft parallel zur Verbindungslinie der Enden des beleuchteten Streifens 22 und die y-Achse verläuft senkrecht zum beleuchteten Streifen 22 durch dessen Mitte.

35

Die y-Richtung stellt zugleich die Scanrichtung dar.

Um das gesamte vom Reticle 12 getragene Muster auf den Wafer 14 zu übertragen, ist das Reticle 12 mit einem
05 nur schematisch gezeichneten Antrieb 26 versehen, der das Reticle 12 in der xy-Ebene in y-Richtung bewegt.

Ähnlich ist der Wafer 14 mit einem ebenfalls nur schematisch angedeuteten Antrieb 28 verbunden, welcher den
10 Wafer 14 in einer zur xy-Ebene parallelen Ebene in y-Richtung bewegt.

Die Antriebe 26 und 28 werden von einer Steuereinheit 30 her gesteuert, welche die beiden Antriebe elektrisch
15 so zwangskoppelt, daß die y-Bewegungen von Reticle 12 und Wafer 14 betragsmäßig dem Abbildungsmaßstab β des Objektives 10 entsprechen und in entgegengesetzter Richtung erfolgen.

20 Die Antriebe 26 und 28 arbeiten über Kipp-Antriebseinheiten 32, 34 auf das Reticle 12 bzw. den Wafer 14 und sind ihrerseits von einem in der Zeichnung nicht wiedergegebenen Anlagenrahmen her über in z-Richtung wirkende weitere Antriebseinheiten 74 bzw. 72 getragen.

25 Die Antriebseinheit 32 ist so ausgebildet, daß sie das Reticle 12 um eine Achse x_R verschwenken kann. Letztere verläuft parallel zur x-Achse in der Ebene der Unterseite des Reticles 12 und durch die Mitte des Lichtstreifens 22,
30 welchen die Lichtquelle 18 auf dem Reticle 12 erzeugt.

Die Antriebseinheit 34 ist entsprechend so ausgebildet, daß sie den Wafer 14 um eine Achse x_W verschwenken kann, die parallel zur x-Richtung verläuft, in der durch
35 die Oberseite des Wafers 14 vorgegebenen Ebene liegt

und die Mitte des Lichtstreifens 24 schneidet.

Die durch Linien schematisch dargestellten Antriebsverbindungen sind nur logisch zu verstehen. Die in der Zeichnung gezeigten Richtungen der Antriebsverbindungen weichen überwiegend von den wahren Richtungen ab.

Die Antriebseinheiten 32, 34 werden ebenfalls durch die Steuereinheit 30 gesteuert und zwar derart, daß die Amplituden ihrer Abtriebsbewegungen dem Abbildungsmaßstab des Objektives 10 entspricht, wobei die Schwenkrichtungen entgegengesetzt sind.

In Abwandlung können die Kippwinkel der Bewegungsebenen der Schlitten der Antriebe 26 und 28 auch fest durch entsprechendes Justieren von Tragplatten für Reticle bzw. Wafer vorgegeben sein, wenn eine Anpassung an geänderte Bedingungen im laufenden Betrieb nicht gefordert wird.

Figur 2 zeigt Einzelheiten des Objektives 10. Dieses umfasst als abbildende Komponenten sechs Spiegel M1, M2, M3, M4, M5 und M6. Deren Spiegelflächen sind coaxial zu einer gemeinsamen Achse A angeordnet.

Die verschiedenen Spiegel M1 bis M6 sind in der Zeichnung als zur Achse A rotationssymmetrische Teile wiedergegeben. Es versteht sich, daß diese Spiegel in Wirklichkeit nur in den durch den Strahlengang auch wirklich ausgenutzten Bereichen realisiert sind und die anderen Bereiche nicht vorhanden sind. Diese Bereiche werden in Figur 2 auch vom restlichen Strahlengang benötigt.

Die Spiegel M1 bis M6 sind auf ihnen zugeordneten Basiselementen B1 bis B6 angeordnet. Diese können neben einer Tragfunktion noch weitere Funktionen erfüllen, z.B. für

eine Thermostatisierung der Spiegel sorgen, und für solche Funktionen benötigten Bauraum bereitstellen.

Beim hier betrachteten Objektiv ist mindestens einer
05 der Spiegel M1 und M6 um kleine Strecken in z-Richtung
und/oder y-Richtung verschiebbar oder um kleine Winkel
um eine zur x-Achse parallele Achse kippbar. Ein entspre-
chendes z-Justiermittel bzw. ein entsprechender z-Aktuator
ist in der Zeichnung bei 33 als Beispiel angedeutet.

10

Figur 3 zeigt eine mögliche Ausführungsform für eine
Halterung für den Wafer 14 (Waferstage).

Eine Basisplatte 36 ist an ihren Enden mit Wänden 38
15 versehen. In den letzteren sind die Enden zweier paralleler
seitlicher Führungsstangen 40 festgemacht. Parallel
zwischen den beiden Führungsstangen 40 erstreckt sich
eine Gewindespindel 42, welche durch einen Getriebemotor
44 angetrieben wird, der auf einer der Wände 38 sitzt.

20

Auf den Führungsstangen 44 läuft mit vier den Ecken der
Basisplatte 36 benachbarten herabhängenden Führungsaugen
46 ein Führungsschlitten 50. Ein bei der Mitte der Basis-
platte 36 herabhängendes Gewindeauge 54 läuft auf der
25 Gewindespindel 42.

Die vorgenannten Elemente 36 bis 54 bilden den y-Antrieb
28.

30 Der Führungsschlitten 50 hat eine Bodenplatte 56 und
seitliche Wangen 58, die in ihrer Mitte mit Lageraugen
60 versehen sind.

In den Lageraugen 60 sind Stummelwellen 62 gelagert,
35 welche fest mit einer Tragplatte 64 verbunden sind.

Auf dieser ist der Wafer 14 lösbar durch nicht näher gezeigte Mittel befestigt.

Die Lage der Stummelwellen 62 ist so gewählt, daß deren
05 Achse, die unter Betriebsbedingungen parallel zur x-Achse verläuft, in der durch die Oberfläche des Wafers 14 vorgegebenen Ebene liegt.

Die wie oben beschrieben schwenkbar gelagerte Tragplatte
10 64 ist über einen Aktuator 66, der ein piezoelektrischer Aktuator sein kann, an der Bodenplatte 56 abgestützt.

Die vorgenannten Elemente 56 bis 66 bilden den Rx_W -Antrieb
34.

15 Der Getriebemotor 44, der ein Getriebe und einen Schrittmotor umfassen kann, sowie der Aktuator 66 sind über Steuerleitungen mit der Steuereinheit 30 verbunden.

20 Die vorstehend beschriebenen Komponenten bilden zusammen eine mit 70 bezeichnete Waferstage. Letztere wird in der Projektionsbelichtungsanlage so eingebaut, daß die Führungsstangen 40 parallel zur y-Richtung verlaufen und die Achsen der Stummelwellen 62 in x_W -Richtung
25 verlaufen.

Man erkennt, daß es auf Grund dieser Anordnung und auf Grund des beschriebenen Aufbaus der Waferstage 70 möglich ist, den Wafer 14 kontrolliert um die x_W -Achse zu drehen
30 und in y-Richtung zu verschieben.

Zusätzlich ist die Basisplatte 36 über den in z-Richtung wirkenden Aktuator 72 an einem rahmenfesten Teil abgestützt, welcher ebenfalls über eine Steuerleitung mit der Steuer-
35 einheit 30 verbunden ist. Dies erlaubt es dann, den Wafer

14 auch in z-Richtung zu bewegen.

In Abwandlung des oben genannten Ausführungsbeispielles kann man die Drehlagerung der Tragplatte 64 am Führungsschlitten 50 auch unter Verwendung von Torsionselementen vornehmen, da die Amplitude der zu erzeugenden Schwenkbewegung um die Achse x_w nur gering (einige μrad) ist.

Zum Halten und Bewegen (Translation und Rotation) des Reticles 12 ist eine Reticle-Stage vorgesehen, die analog zur in Figur 3 gezeigten Waferstage 70 ausgebildet ist und somit nicht nochmals detailliert beschrieben zu werden braucht.

Die Antriebseinheit 32 und ihre Lagerung am Anlagenrahmen kann also so erfolgen, wie obenstehend für die Antriebseinheit 34 beschrieben. Nur hängt das Reticle 12 dann an der Unterseite der Tragplatte 64. Die gesamten Abmessungen und der y-Hub der Antriebseinheit 32 müssen natürlich gemäß dem Abbildungsverhältnis des Objektives 10 größer ausfallen.

Versteht man unter Anamorphismus lineare Feldverläufe der Verzeichnung mit zweizähliger Symmetrie bezüglich eines beliebigen Punktes der Bildebene, so gilt für den Verzeichnungsvektor

$$dr = a \cos 2w + b \sin 2w$$

und für die Tangentialkomponente des Verzeichnungsvektors

$$dw = -b \cos 2w + a \sin 2w,$$

wobei a und b zwei beliebige Konstanten und w der Winkel des Polarkoordinatensystems sind.

Die beim lithographischen Belichten von Wafern verwendeten
Objektive haben unter Einsatzbedingungen in der Regel
Verzeichnungen, die herstellungsbedingt oder einsatzbe-
05 dingt sein können. Einsatzbedingte Verzeichnungen können
beispielsweise zurückzuführen sein auf die Wärmeausdeh-
nung von Spiegeln im Betrieb, Deformation von Spiegeln
durch mechanische Spannung, wie sie bei der Fertigung,
bei der Montage oder durch den Betrieb auf die Spiegel
10 einwirkender Manipulatoren erzeugt werden, oder aber
auch durch die Degradation von Spiegeloberflächen im
Betrieb.

Für den Spezialfall, daß die y-Komponente des Verzeich-
15 nungsvektors linear zunimmt, die x-Komponente dagegen
gleich bleibt, erhält man für die y-Komponente der Ver-
zeichnung die in Figur 4 gezeigten Verhältnisse. Die
maximale Verzeichnung beträgt ca. 2,6 nm, das entspricht
1 ppm. Die x-Komponente der Verzeichnung ist Null.

20 Der Lichtstreifen 22 ist dabei ein zur Achse A konzentri-
sches Ringsegment mit einem Öffnungswinkel von etwas
weniger als 60° , einem mittleren Radius von 138 mm und
einer verglichen mit dem Radius kleinen Breite. Damit
25 ergibt sich bei einem Abbildungsmaßstab 1:4 des Objektives
10 ein Radius des Lichtstreifens 24 von 34,5 mm.

Der beschriebene Feldverlauf ist spiegelsymmetrisch
zur y-Achse. Mit Hilfe eines (idealen) Manipulators
30 für den Abbildungsmaßstab des Objektives kann jeder
beliebige anamorphotische Feldverlauf mit derselben
Symmetrie aus dem dargestellten Feldverlauf erzeugt
werden. Auf diese Weise nicht zugänglich sind aber be-
züglich der y-Achse antisymmetrische Feldverläufe.

35

Typische lineäre antisymmetrische anamorphotische Feldverläufe der Verzeichnung sind beispielsweise Scherungen des Bildes. Diese kann man durch Drehen des Reticles oder des Wafers um eine zur optischen Achse des Objektivs
05 parallele Achse zumindest teilweise kompensieren.

Anamorphotische Feldverläufe der Verzeichnung treten bei den derzeit gebräuchlichen Objektiven für Projektionsbelichtungsanlagen hauptsächlich aus zwei Grün-
10 den auf: Oberflächenfehler der Spiegel und Spiegeldeformationen. Letztere entstehen z.B. dadurch, daß die schmale Form des Scan-Lichtstreifens zu einer ungleichförmigen Erwärmung und Deformation feldnaher Spiegel führt. Das Deformationsfeld feldnaher Spiegel hat üblicherweise einen
15 grossen Anteil bei Bildfehlern mit zweizähliger Symmetrie.

Der einfachste Bildfehlertyp dieser Symmetrie ist der Anamorphismus. Er kann bei beidseitig telezentrischen Objektiven nicht ohne aktive Deformation eines Spiegels
20 kompensiert werden. Eine beidseitig telezentrische Strahlführung könnte auch nur erreicht werden, wenn das Reticle sehr stark gekippt wird, was aber nicht vorteilhaft ist.

Bei der oben beschriebenen Projektionsbelichtungsanlage ist das Projektionsobjektiv objektseitig nicht telezentrisch. Daher kann man durch Verschieben der Lage des Reticles parallel zur optischen Achse den Abbildungsmaßstab beeinflussen.
25

30 Durch das oben beschriebene Kippen des Reticles 12 um die Achse x_R ergibt sich in y-Richtung ein annähernd linearer Verlauf der y-Komponente der Verzeichnung, wie er in der am Schluß der Beschreibung stehenden Tabelle 1
35 zusammengestellt ist und in Figur 5 gezeigt ist. Diese

kippungsbedingt erzeugte Verzeichnung entspricht näherungsweise dem zu korrigierenden Anamorphismus.

Die im Anhang wiedergegebene Tabelle 1 gibt zur Veranschaulichung die Bildfehler an, die man erzeugt, wenn man das Reticle 12 um die x_R -Achse um $1 \mu\text{rad}$ kippt.

Figur 5 entspricht einer Verkippung R_x des Reticles 12 um x_R von $1 \mu\text{rad}$, wobei die Bildebene in y- und z-Richtung nachgeführt wurde. Die Defokussierung und laterale Verschiebung des Bildes wurden so korrigiert.

Das Feldmaximum ist in Figur 5 und weiteren ähnlichen Figuren in nm angegeben.

Zusätzlich entsteht durch die Verkippung R_x des Reticles 12 um die Achse x_R aber noch eine x-Komponente der Verzeichnung, die nicht für die Korrektur von Anamorphismus verwendet werden kann. Daher ist das Korrekturpotential, welches in einer Verkippung des Reticles 12 um die Achse x_R liegt, begrenzt.

Wird das Reticle 12 gekippt, so kippt auch die beste Einstellebene für das Bild, welches auf der Oberseite des Wafers 14 erzeugt wird. Dem kann man dadurch begegnen, daß man auch die den Wafer 14 tragende Tragplatte 64 verkippt, was die oben beschriebene Anordnung erlaubt. Dabei wählt man das Verhältnis zwischen Kippwinkel von Wafer zu Kippwinkel des Reticles gleich dem Abbildungsmaßstab des Objektivs:

$$\alpha_W = \beta \alpha_R.$$

Ferner wählt man die Abstände Dx_R und Dx_W von x_R und x_W von der optischen Achse A des Objektivs wie folgt:

$$Dx_R = \beta Dx_W.$$

05 Tabelle 2 zeigt als Beispiel die Verhältnisse bei Kippung
der Reticlestage um einen größeren Winkel als in Tabelle
1 ($4 \mu\text{rad}$) bei gleichzeitiger Kippung der Waferstage um $1 \mu\text{rad}$.

10 Oben wurden Grenzen der Kompensation der Verzeichnung
durch Verkippen von Reticle und Wafer aufgezeigt. Durch
Änderung anderer Parameter des gesamten Abbildungssystems
lassen sich aber noch weitere Verbesserungen erzielen.

15 Bezeichnet man verkürzt die Gesamtheit der verschiedenen
beweglichen Komponenten des gesamten Projektionssystems
(Spiegel, Reticlestage und Waferstage) als "Manipulator",
so hat dieser eine Vielzahl von veränderbaren Freiheits-
graden. Die Änderungen dieser Freiheitsgrade wirken sich
in Änderungen der Qualität der Abbildung in unterschied-
20 licher Richtung aus. Für die nachstehende Betrachtung
werden berücksichtigt die Verzeichnung (dx, dy), die
Bildfeldwölbung ($FC = \text{field curvature}$), der Astigmatismus,
Koma und sphärische Aberration. Denkbar wären aber auch Maß-
stabsfehler des Objektives.

25 Aus den verschiedenen Bildfehlern wird unter geeigneter
Gewichtung eine Meritfunktion gebildet, die die verschie-
denen Abbildungsfehler bzw. die Abbildungsqualität des
Objektives in einer einzigen Zahl widerspiegelt und die
30 durch dem Fachmanne bekannte Verfahren minimiert werden
kann.

Im Hinblick auf die kompensierenden Verzeichnungen sind
neben den schon erwähnten Verkipnungen von Reticle und
35 Wafer um Parallelen zur x-Achse weitere erfolgverspre-

chende Freiheitsgrade die Verschiebungen der Spiegel des in Figur 2 gezeigten Objektives parallel zur z-Achse und y-Achse sowie Verkippen dieser Spiegel um zur x-Achse parallele Achsen. Die vorgenannten Freiheitsgrade erhalten die Spiegelsymmetrie des Objektives bezüglich der mit der y-z-Ebene zusammenfallenden Symmetrieebene der gesamten Anordnung.

Verwendet man all die soeben genannten Freiheitsgrade und wird für jede Störung und jeden Freiheitsgrad die Position der Bildebene immer jeweils in die optimale Lage nachgeführt, so erhält man bei Freigabe aller Freiheitsgrade eine Meritfunktion, die nur noch 23,2% des Ausgangswertes beträgt.

Dies ist zu vergleichen mit der Meritfunktion, die durch Kippen von Wafer und Reticle um die Achse X_W bzw. X_R allein erhalten wird: Durch diese Maßnahme kann man die Meritfunktion auf weniger als 48,5% des Ausgangswertes reduzieren. Diese Verhältnisse sind in Figur 7 dargestellt. Vgl. auch Tabelle 2.

Nachdem man schon durch Hinzunahme eines einzigen weiteren Freiheitsgrades zu den Verkippen von Reticle und Wafer eine Herabsetzung der Meritfunktion auf um die 25% erhält, ist die Hinzunahme eines vierten, fünften oder sechsten Freiheitsgrades nur noch mit unwesentlichen weiteren Verbesserungen verbunden.

Die im Anhang angegebenen Tabellen 3 und 4 zeigen, daß sich als dritter Freiheitsgrad die Verschiebung einer der Komponenten des Abbildungssystems in z-Richtung anbietet.

Dabei kommt man mit einer Verschiebung des Reticles (Tabelle 3) in z-Richtung (Ob-z = Objektbewegung in z-Richtung)

dem Ergebnis schon sehr nahe, welches man mit einem idealen Manipulator erreichen würde. Auch mit einer Verschiebung des Spiegels M1 oder des Spiegels M6 in zur z-Achse paralleler Richtung erzielt man sehr gute Ergebnisse.

05

Die Verhältnisse bei Verkippung des Reticles um $4 \mu\text{rad}$, Verkippung des Wafers um $1 \mu\text{rad}$ und Verlagerung des Reticles in z-Richtung um $0,031 \mu\text{m}$ sind in Tabelle 3 und auch in Figur 7 dargestellt.

10

Tabelle 4 zeigt als Alternative die Verhältnisse bei Verschiebung des ersten Spiegels M1 in z-Richtung um den Betrag von $0,016 \mu\text{m}$. Siehe hierzu auch Figur 8.

15 Aus den obigen Darlegungen ergibt sich, daß der wesentliche Freiheitsgrad zur Korrektur von Anamorphismus die Kippung des Reticles um die Achse x_R ist.

Bei dem oben beschriebenen Objektiv ist das Feld weit
20 von der optischen Achse entfernt. Dieser Umstand ermöglicht es, die Korrektur des Anamorphismus durch Kippen des Reticles durchzuführen.

Für eine andere Strahlführung, bei welcher das Feld
25 näher bei der optischen Achse liegt, wird die Anamorphismus-Korrektur schlechter. Ist der Abstand des Feldes nicht größer als seine halbe Ausdehnung in x-Richtung, überwiegt die x-Komponente der Verzeichnung, und das Kippen des Reticles bringt nicht die oben geschilderte
30 gewünschte Korrektur.

Die oben aufgeführten Tabellen werden nachstehend wiedergegeben.

Tabelle 1: Änderung der Verzeichnung (dx, dy) und Bildfeldkipp für bestimmte Feldpunkte, wenn die Reticlestage um $1\mu\text{rad}$ gekippt wird.

x-Koordinate [mm]	y-Koordinate [mm]	dx [nm]	dy [nm]	Defok. [nm]
0.0	33.5	0.0	-0.02	-0.01
0.0	34.0	0.0	-0.07	-0.14
0.0	34.5	0.0	-0.12	-0.27
0.0	35.0	0.0	-0.17	-0.39
0.0	35.5	0.0	-0.22	-0.52
13.0	30.9	0.14	0.22	0.64
13.0	31.4	0.12	0.18	0.51
13.0	32.0	0.10	0.13	0.37
13.0	32.5	0.08	0.08	0.24
13.0	33.0	0.06	0.03	0.12

Tabelle 2: Änderung der Verzeichnung (dx, dy) und Bildfeldkipp für bestimmte Feldpunkte, wenn die Reticlestage um $4\mu\text{rad}$ und gleichzeitig die Waferstage um $1\mu\text{rad}$ gekippt wird.

x-Koordinate [mm]	y-Koordinate [mm]	dx [nm]	dy [nm]	Defok. [nm]
0.0	33.5	0.0	-0.06	0.0
0.0	34.0	0.0	-0.26	0.0
0.0	34.5	0.0	-0.46	0.0
0.0	35.0	0.0	-0.67	0.0
0.0	35.5	0.0	-0.89	0.0
13.0	30.9	0.57	0.89	0.0
13.0	31.4	0.48	0.71	0.0
13.0	32.0	0.40	0.52	0.0
13.0	32.5	0.31	-0.32	0.0
13.0	33.0	0.23	-0.12	0.0

Tabelle 3: Änderung der Verzeichnung (dx, dy) und Bildfeldkipp für bestimmte Feldpunkte, wenn die Reticlestage um $4\mu\text{rad}$ gekippt ist, die Waferstage um $1\mu\text{rad}$ gekippt ist und die Reticlestage $0.031\mu\text{m}$ in z-Richtung verschoben ist.

x-Koordinate [mm]	y-Koordinate [mm]	dx [nm]	dy [nm]
0.0	33.5	0.0	-0.07
0.0	34.0	0.0	-0.28
0.0	34.5	0.0	-0.49
0.0	35.0	0.0	-0.72
0.0	35.5	0.0	-0.95
13.0	30.9	0.26	0.95
13.0	31.4	0.18	0.75
13.0	32.0	0.09	0.55
13.0	32.5	0.01	0.34
13.0	33.0	-0.07	0.13

Tabelle 4: Änderung der Verzeichnung (dx, dy) und des Bildfeldklipp für bestimmte Feldpunkte, wenn die Reticlestage um $4\mu\text{rad}$ gekippt ist, die Waferstage um $1\mu\text{rad}$ gekippt ist und der erste Spiegel $0.031\mu\text{m}$ in z-Richtung verschoben ist.

x-Koordinate [mm]	y-Koordinate [mm]	dx [nm]	dy [nm]
0.0	33.5	0.0	-0.07
0.0	34.0	0.0	-0.28
0.0	34.5	0.0	-0.50
0.0	35.0	0.0	-0.72
0.0	35.5	0.0	-0.95
0.0	30.9	0.27	0.94
13.0	31.4	0.19	0.75
13.0	32.0	0.10	0.55
13.0	32.5	0.02	0.34
13.0	33.0	-0.07	0.12

Patentansprüche

=====

05

1. Verfahren zum lithographischen Belichten eines
Wafers (14), bei welchem ein Reticle (12) von einer
Lichtquelle (18) beleuchtet wird und über ein Objektiv
(10) auf den Wafer (14) abgebildet wird, wobei der Strah-
10 lengang objektseitig nicht telezentrisch ist, und bei
welchem durch in einer Scanrichtung (y) im Verhältnis des
Abbildungsmaßstabes erfolgende Relativbewegungen zwischen
Reticle (12) und Wafer (14) einerseits und dem Objektiv
(10) andererseits das Abbild eines vom Reticle (12)
15 getragenen Musters auf den Wafer (14) übertragen wird,
wobei durch eine Kompensationsbewegung einer der vorge-
nannten Komponenten (10, 12, 14) mindestens ein Abbil-
dungsfehler des Objektivs (10) kompensiert wird, dadurch
gekennzeichnet, daß zur Kompensation von Anamorphismus
20 des Objektivs (10) das Reticle (12) oder der Wafer (14)
um eine Achse (x_R) verkippt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Kippachse (x_R) senkrecht auf der Richtung
25 der Relativbewegung steht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Kippachse (x_R) in der beleuchteten
Fläche des Reticles (12) liegt.
30
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
daß die Kippachse (x_R) die Mitte des auf der be-
leuchteten Oberfläche erzeugten Lichtfeldes (24) schneidet.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch

gekennzeichnet, daß sowohl das Reticle (12) als auch der Wafer (14) um die jeweils genannte Achse verkippt wird.

- 05 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Betrag des Verhältnisses zwischen den Kippwinkeln von Reticle (12) und Wafer (14) dem Betrag des Abbildungsmaßstabes des Objektivs (10) entspricht.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Betrag des Verhältnisses zwischen den Abständen der beiden Kippachsen (x_R , x_W) von der optischen Achse (A) im wesentlichen dem Betrag des Abbildungsmaßstabes des Objektivs (10) entspricht.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich der Abbildungsmaßstab des Objektivs (10) verändert wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Komponente des Objektivs (10) parallel zur optischen Achse (A) verschoben wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Komponente des Objektivs (10) in Scanrichtung (y) bewegt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Komponente des Objektivs (10) um eine Achse gekippt wird, die senkrecht auf der optischen Achse (A) und senkrecht auf der Scanrichtung (y) steht.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv (10) mindestens einen
- 35

Spiegel (M1) umfaßt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
daß das Objektiv (10) mindestens sechs Spiegel (M1
05 bis M6) umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekenn-
zeichnet, daß das Objektiv (10) als abbildende
Komponenten nur Spiegel (M1 bis M6) umfaßt.

10

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch
gekennzeichnet, daß zwei oder mehr der Komponenten
des Objektivs (10) in einer oder mehreren der genannten
Weisen bewegt werden.

15

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch
gekennzeichnet, daß der Kippwinkel des Reticles
(12), gegebenenfalls der Kippwinkel des Wafers (14) und
nochmals gegebenenfalls zusätzlich Kompensationsbewe-
20 gungen von Komponenten des Objektivs (10) durch Mini-
mierung einer Meritfunktion erhalten werden, welche
auf der Basis von einer oder mehr der nachstehenden Grös-
sen ermittelt wird: Verzeichnung, Bildfeldwölbung, Koma,
sphärische Aberration, Astigmatismus, Fehler des Abbil-
25 dungsmaßstabes.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch
gekennzeichnet, daß das Feld weit von der optischen
Achse entfernt ist.

30

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,
daß der Abstand des Feldes von der optischen Achse
größer ist als die Hälfte der Abmessung des Feldes in der
Richtung (x), die senkrecht auf der optischen Achse (z)
35 und senkrecht auf der Scanrichtung (y) steht.

Zusammenfassung

=====

05

Zur Kompensation von Anamorphismus bei einem Projektionsobjektiv (10) einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage für Wafer (14) wird vorgeschlagen, das zu projizierende Muster tragende Reticle (12) und vorzugsweise auch den

10 Wafer (14) um einen kleinen Winkel um eine Achse (x_R , x_W) zu verkippen, die senkrecht auf der Achse A des Objektivs (10) und senkrecht auf der Scanrichtung (y) steht und jeweils durch die Mitte des auf dem Reticle (12) bzw. dem Wafer (14) erzeugten Lichtfeldes steht.

15

(Figur 1)

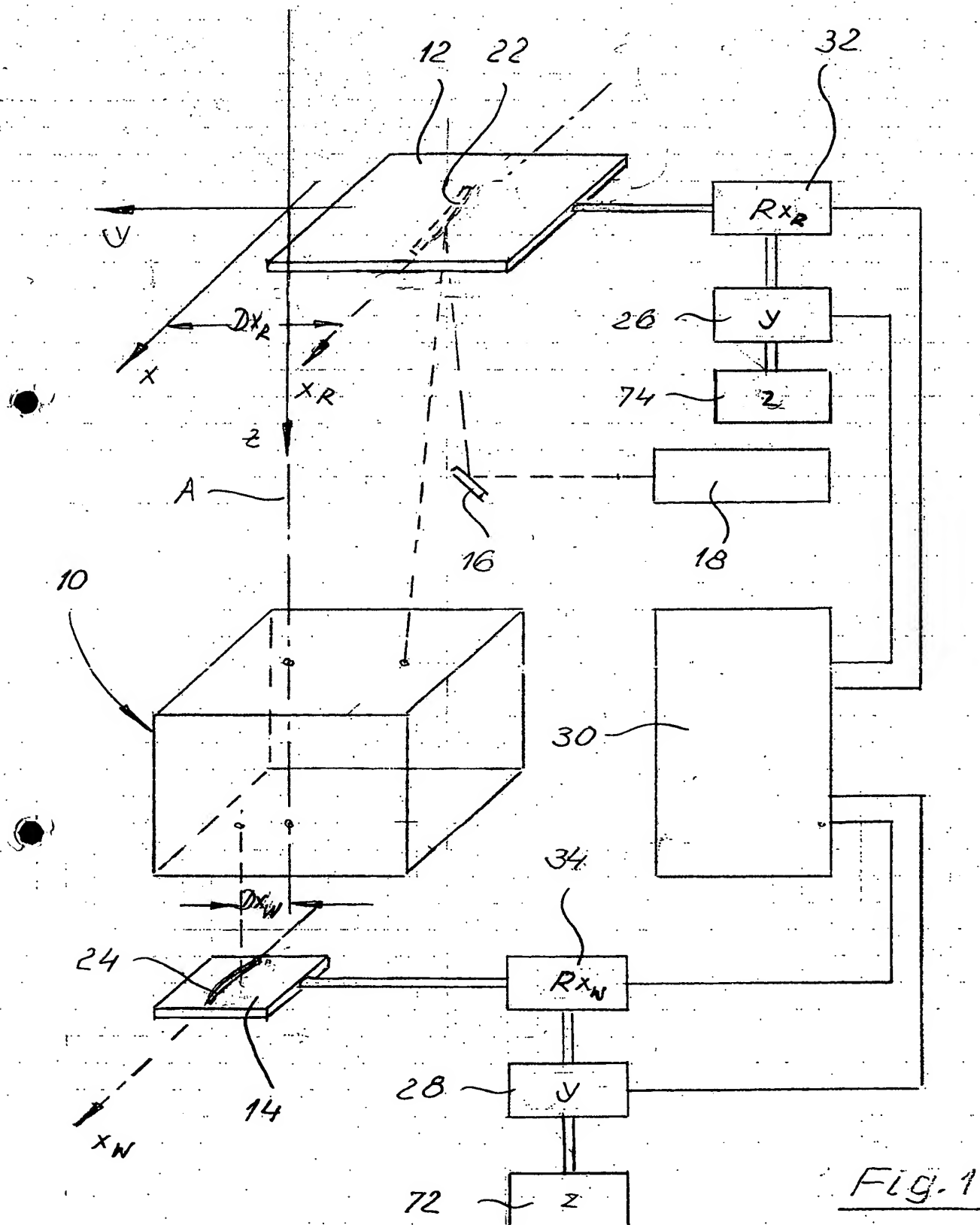
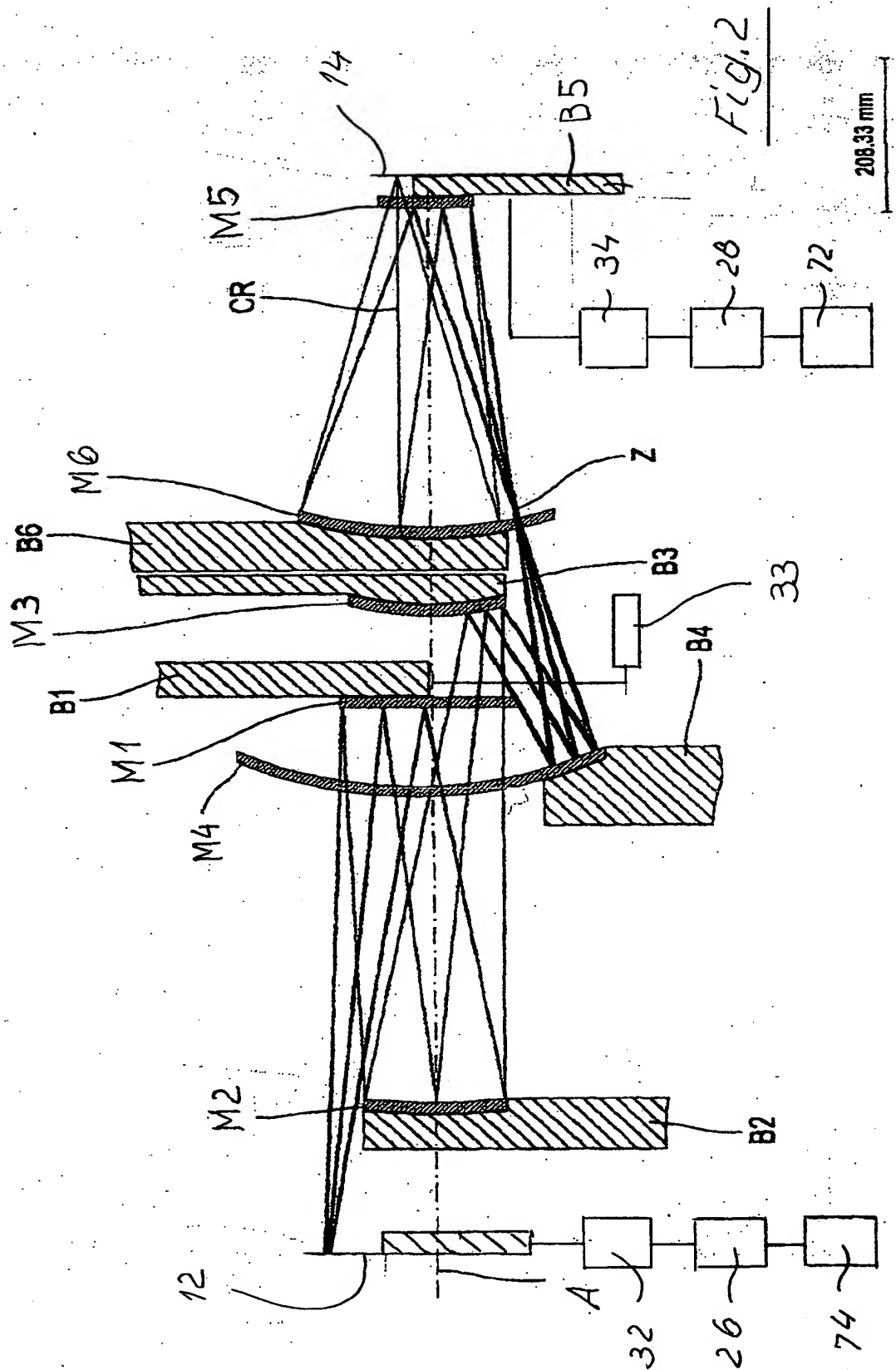


Fig. 1



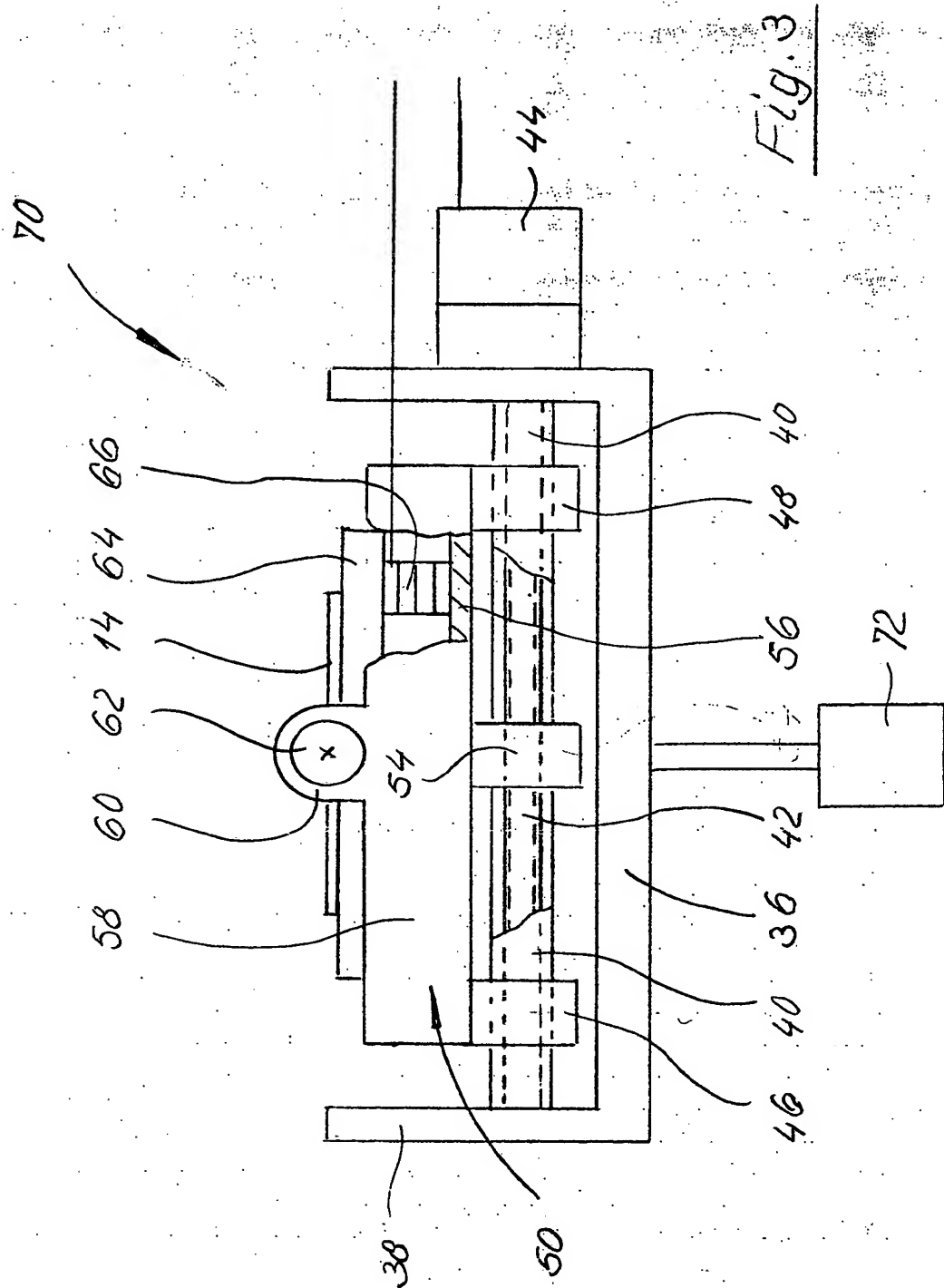
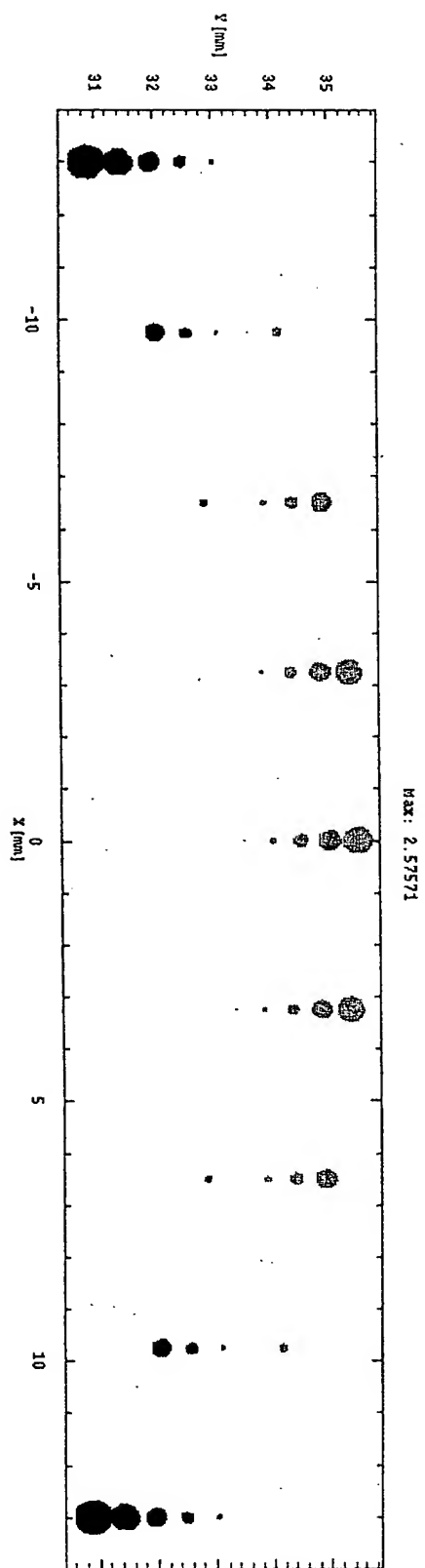


Fig. 3

Fig. 4



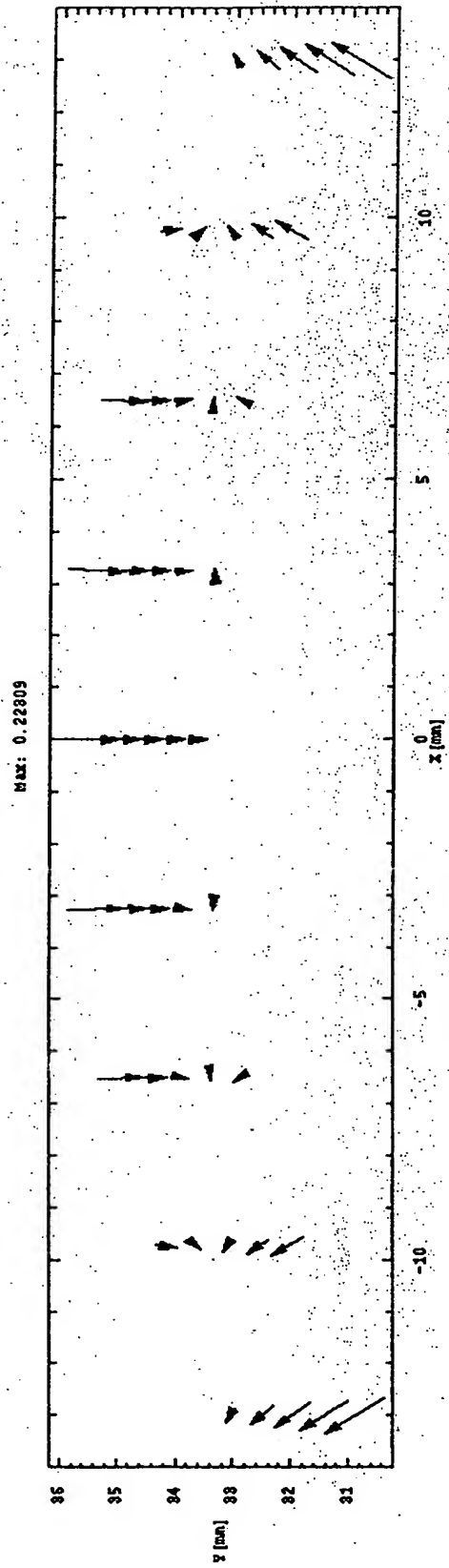


Fig. 5

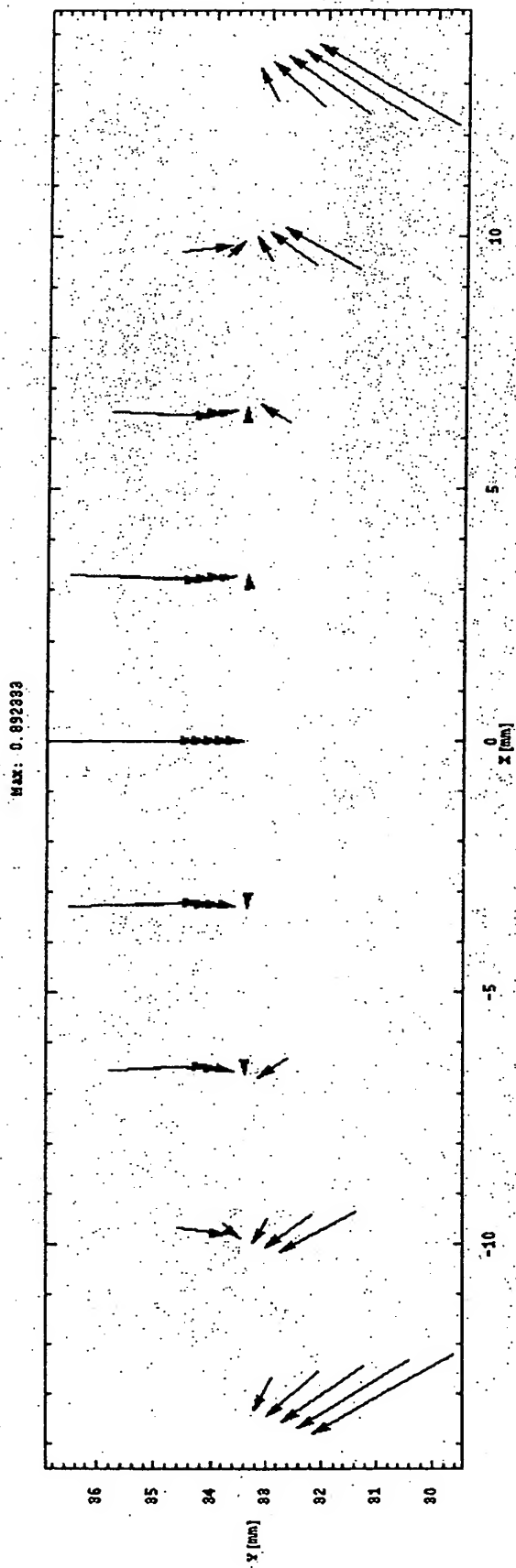


Fig 6

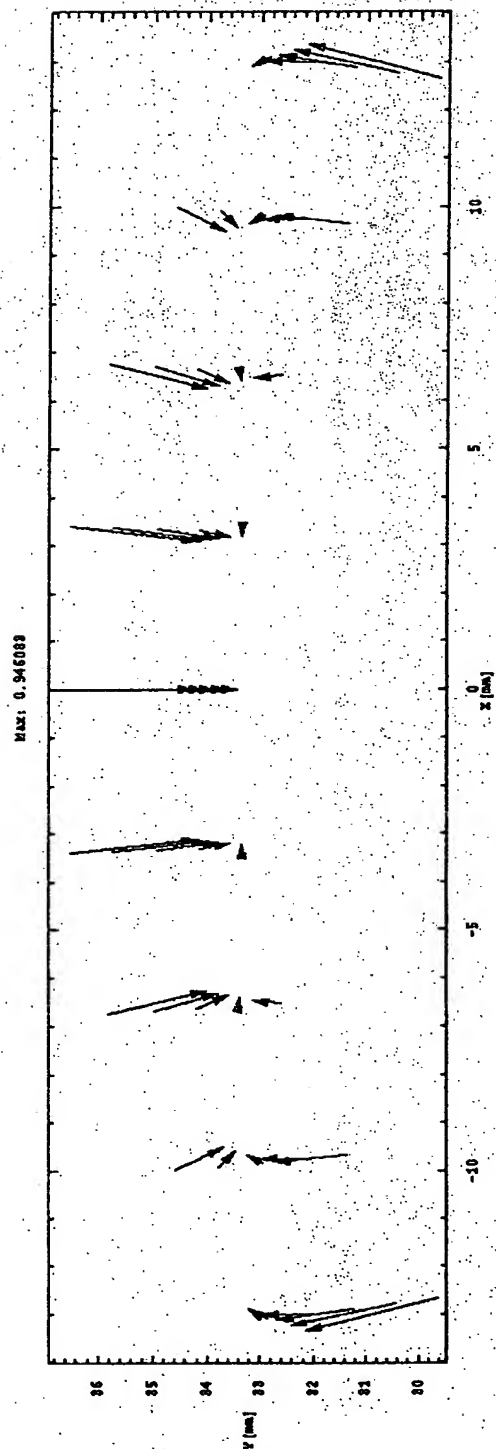


Fig. 7

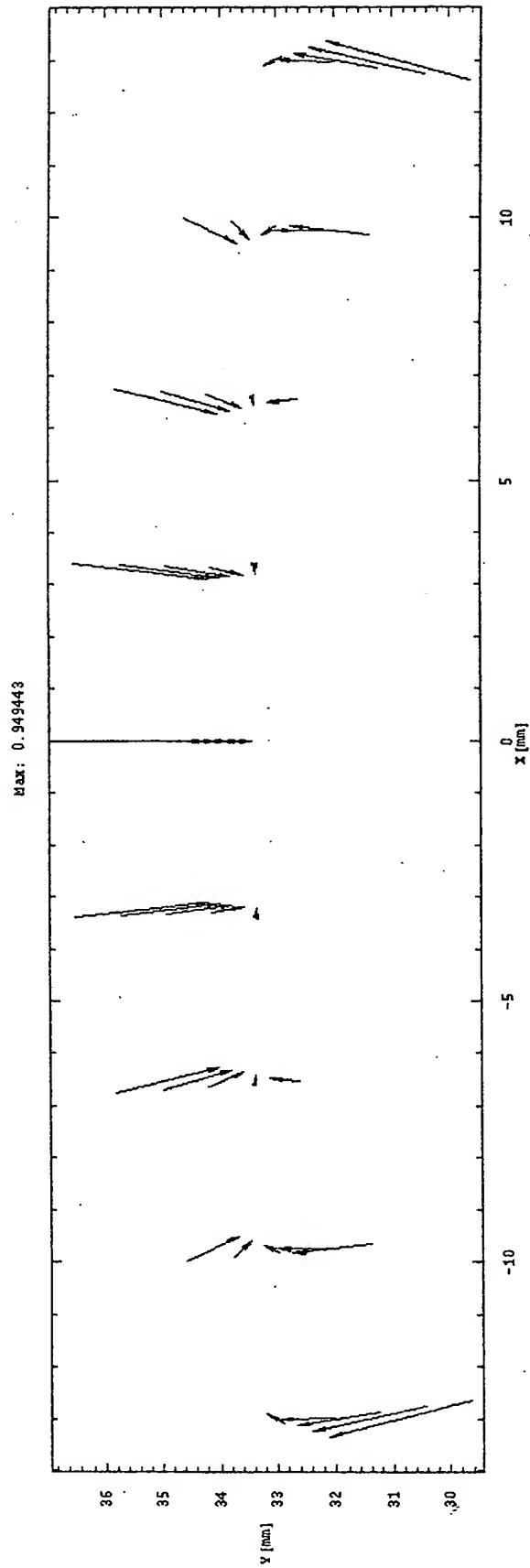


Fig. 8